

Biorrefinería de Aguaje (*Mauritia Flexuosa* L.)

Productos, Procesos y Viabilidad Económica — Enfoque técnico para ingenieros de procesos

BIOECONOMÍA CIRCULAR

AMAZONÍA PERUANA



El Potencial del Aguaje

Recurso Estratégico

Fruto amazónico con alto valor nutricional: rico en carotenoides, tocoferoles, ácidos grasos esenciales y fibra dietética.

Enfoque Biorrefinería

Maximizar el aprovechamiento integral del fruto, generando productos de alto valor y minimizando residuos al mínimo posible.

Objetivo

Presentar un panorama técnico-económico completo para la toma de decisiones en ingeniería de procesos a escala industrial.



Materia Prima: Composición del Aguaje

Composición Química Aproximada (% base húmeda)



Componente	Contenido (%)
Humedad	30 – 40
Grasa total	25 – 35
Carbohidratos	20 – 30
Fibra dietética	5 – 10
Proteína cruda	2 – 4
Cenizas	1 – 2

i Destaca su altísimo contenido de **β-caroteno** (~3,000 µg/100g) y **tocoferoles** (~40 mg/100g), lo que justifica su valorización en mercados premium de cosmética y nutraceutica.

Diagrama de Flujo: Biorrefinería de Aguaje



El esquema ilustra las principales etapas y corrientes de producto/subproducto de la biorrefinería integrada. Cada fracción del fruto es procesada para generar valor, siguiendo el principio de residuo cero.

Productos y Subproductos de Alto Valor



Aceite de Aguaje

Rico en β -caroteno y vitamina E. Aplicaciones en **cosmética**, suplementos nutricionales y nutraceuticos premium.



Néctar / Jugo

Bebida tradicional y comercial de la Amazonía. Alta demanda local e internacional por su perfil nutricional único.



Harina de Semilla

Rica en proteínas y fibra. Uso en **alimentación animal** e ingrediente funcional para panificación y extrusión.



Carotenoides / Tocoferoles

Extractos purificados para la industria **farmacéutica** y cosmética de alto valor. Precio de mercado elevado.

Balances de Masa y Energía: Producción de Néctar

Caso Base: Turno de 8 horas — Barriga Reátegui et al. (2018)

Variable de Proceso	Valor
Fruto aguaje (entrada)	896.47 kg/turno
Néctar producido	1,752.63 L/turno
Rendimiento de néctar	195.50% (p/p)
Consumo de vapor	304.90 kg/turno
Requerimiento calórico	217,114.43 Kcal/turno
Consumo eléctrico	102.61 kW/turno

 **Ejemplo de cálculo — Rendimiento:**
$$\text{Rendimiento (\%)} = (1,752.63 \text{ L} \times 1.03 \text{ kg/L}) / 896.47 \text{ kg} \times 100 = \approx \mathbf{201.4\%}$$

El rendimiento supera el 100% porque se incorpora agua en la formulación del néctar según NTP para bebidas de fruta.

 **Balance energético simplificado:**
$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T = 304.90 \text{ kg} \times 2.26 \text{ MJ/kg} (\lambda_{\text{vapor}}) \approx \mathbf{689 \text{ MJ/turno}}$$

Equivale a ~191.3 kWh térmicos por turno de producción.

Análisis Económico: CAPEX y OPEX

Planta de Néctar de Aguaje — Loreto, Perú

Barriga Reátegui et al., 2018

Concepto	Monto (US\$)
Inversión Total (CAPEX)	159,128.05
Financiamiento externo	143,215.25
Capital propio	15,912.80

Biorrefinería de Residuos Lignocelulósicos

Clauser et al., 2023 — Escala: 15,000 ton/año bagazo

Indicador	Valor
VAN (PHB + Ác. Levulínico)	> US\$ 17 M
TIR (Xilitol + Energía/MDF)	11.2%

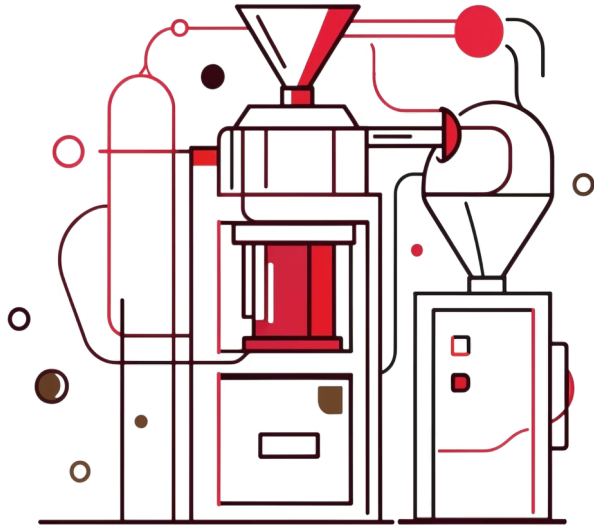
Factores que elevan CAPEX

- Equipos de extracción con solvente
- Sistemas de recuperación de solvente
- Infraestructura en zonas remotas

Principales costos OPEX

- Materia prima: ~35–45% del total
- Mano de obra: ~20–25%
- Energía (vapor + electricidad): ~15–20%

Equipos Clave del Proceso



Extracción de Aceite

Prensas de tornillo (frío) o extractores con hexano. Filtros de prensa y evaporadores tipo *falling film*.



Procesamiento de Pulpa

Despulpadoras de acero inoxidable, molinos coloidales y tanques de homogenización con agitación controlada.



Pasteurización / Esterilización

Intercambiadores de calor de placas (HTST) o tubulares (UHT) para garantizar inocuidad microbiológica del néctar.

Casos de Estudio y Aplicaciones Industriales

Néctar de Aguaje — Loreto, Perú

Mercado consolidado a escala regional. La planta analizada procesa ~6,700 kg de fruto por semana, con TIR positiva y periodo de recuperación de 3–4 años.

Aceite de Aguaje — Cosmética

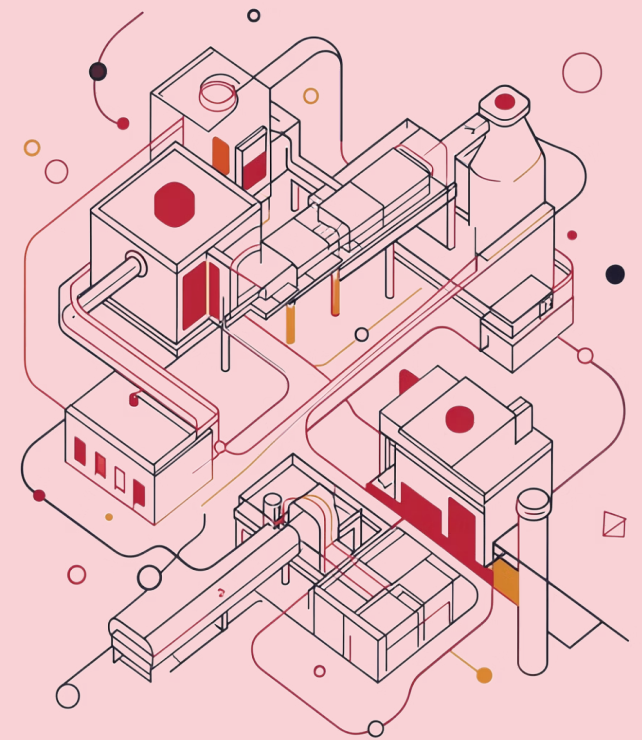
Empresas como **Amazonia Natural** y **Selva Viva** comercializan aceite refinado a US\$ 80–120/L en mercados europeos y norteamericanos.

Xilitol + Energía a partir de Bagazo

Clauser (2019): TIR de 11.2% a escala de 15,000 ton/año. Modelo replicable para residuos lignocelulósicos del aguaje (fibra de cáscara).

Pectina de Cáscara

Análogo al caso de cáscara de naranja (Muñoz-Briones et al., 2021): VAN positivo y sinergia con aceites esenciales en un esquema de biorrefinería dual.



Conclusiones y Perspectivas Futuras



→ Modelo Sostenible

La biorrefinería de aguaje se alinea con la **bioeconomía circular**, generando valor en todas las fracciones del fruto.

→ Diversificación de Productos

Aceite, néctar, harina, pectina y extractos funcionales maximizan el ingreso por tonelada de fruto procesado.

→ Viabilidad Demostrada

Los indicadores económicos (VAN, TIR) son positivos a escala semi-industrial cuando se integran múltiples flujos de valor.

Próximos Pasos para Ingenieros de Procesos

- Optimizar extracción supercrítica con CO₂ para mayor pureza de aceite
- Desarrollar modelos de simulación (Aspen Plus/HYSYS) para escalado
- Evaluar tecnologías de encapsulación de carotenoides
- Diseñar estrategias de gestión de residuos lignocelulósicos

Bibliografía

Barriga Reátegui, H. E., Gallardo Gonzales, M. A., & Robalino Inuma, J. D. (2018). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una Planta Industrial de néctar a partir del fruto del aguaje (Mauritia Flexuosa L), en la Region Loreto.* Universidad Nacional De La Amazonía Peruana.

Clauser, N. M., Felissia, F. E., Area, M. C., & Vallejos, M. E. (2023). Process Design for Value-Added Products in a Biorefinery Platform from Agro and Forest Industrial Byproducts. *Polymers*, 15(2), 274.

Osorio Jalave, D. A. (2015). *Análisis tecnológico y energético de una biorrefinería sustentable: Producción de acetona-butanol-etanol y xilitol a partir de residuos agroindustriales.* Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Clauser, N. M. (2019). *Estudio técnico-económico de la biorrefinería de los residuos de industrialización primaria de la madera y agroindustriales.* Tesis doctoral, CONICET, Argentina.

Muñoz-Briones, P. A., Almeida-Streitwieser, D., Fonseca-Ashton, J. D., & Alvarez-Barreto, J. F. (2021). Estudio de pre-factibilidad técnica y económica de la implementación de una biorrefinería para la conversión de residuos de cáscara de naranja. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 13(2).

Reátegui Díaz, P. (1987). *Elaboración de Néctar de Aguaje (Mauritia Flexuosa).* Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.